УДК 553.493.5:550.4(571.15)

СОСТАВ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВ В КВАРЦАХ КАЛГУТИНСКОГО РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.А. Поцелуев, Д.И. Бабкин, В.И. Котегов

Томский политехнический университет
E-mail: lev@tpu.ru

Изучены основные компоненты газово-жидких включений в кварце рудоносных геологических образований Калгутинского редкометалльного месторождения – H_2O, CO_2, CO, H_2, а также предельные (CH_4, C_2H_6, C_3H_8, C_4H_{10}, C_5H_{12}, C_6H_{14}) и непредельные (C_2H_2, C_2H_4) углеводороды. Главными компонентами включений являются H_2O и CO_2. Преобладают двухфазные включения, реже встречаются 1- и 3-фазные. Температура гомогенизации первичных включений составляет 290...340 °C, вторичных – 140...160 °C. Концентрация растворов солей (NaCl) в составе двухфазных аутигенных включений составляет 11,6...14,0 мас. %. Рудоносные образования месторождения контрастно отличаются по общему содержанию газов. Выявлены общие закономерности в зональном распределении компонентов. С глубиной уменьшается содержание H_2O и CO_2, но увеличивается содержание CO, H_2 и углеводородов, возрастает концентрация углекислоты и углеводородов в составе флюида. Показано закономерное формирование ранее выявленного в составе руд графита за счет «выхода» углерода из флюида. Сделан вывод о том, что формирование оруденения происходило в контрастных условиях окисления первично восстановленного металлоносного флюида.

Введение

В последние годы в составе руд Калгутинского редкометалльного грейзенового месторождения выявлены не характерные для месторождений этого типа высокие концентрации благородных металлов (Au, Ag, Pt, Pd) и графит [1–3]. Эти данные, а также результаты исследования других геологических образований рудного поля указывают на значительное влияние глубинного источника вещества и энергии на Калгутинскую рудно-магматическую систему на всех этапах ее развития [4–8].

В ряде публикаций приводятся результаты изучения газово-жидких включений в кварце Калгутинского месторождения, но они выполнены по крайне ограниченному количеству проб, не характеризуют все рудоносные образования, проанализированы на узкий круг компонентов и не отражают закономерности их пространственного распределения.

В связи с этим проведены специальные исследования по изучению состава газово-жидких включений в кварце рудоносных геологических образований, позволяющие с новых позиций оценить генезис и перспективы этого во многом уникального объекта.

Калгутинское месторождение приурочено к одноименному массиву лейкократовых редкометальных позднегерцинских гранитов. Оруденение представлено серией крутопадающих вольфрамит-молибденит-кварцевых жил с халькопиритом, висмутином, бериллом. Длина жил колеблется от первых десятков до 1000 м при мощностях, редко превышающих 1 м. Жилы сопровождаются грейзеновой оторочкой мощностью до 0,5 м. Отмечаются изоли-

рованные участки грейзенов, в форме линейных зон, раздувов и столбообразных тел типа «Мо-шток».

Основные результаты и их обсуждение

Для исследования газово-жидких включений были отобраны мономинеральные фракции кварца (размер 0,5...0,25 мм) из различных геологических образований Калгутинского месторождения. Газовохроматографический анализ выполнен в лаборатории термобарогеохимии института минералогии и петрографии СО РАН (г. Новосибирск) на установке ЛХМ-80 (заведующий лабораторией А.А. Томиленко, аналитик Л.Н. Фомина). Были проанализированы следующие компоненты газово-жидких включений: H_2O, CO_2, CO, H_2, N_2, а также предельные (CH_4, C_2H_6, C_3H_8, C_4H_{10}, C_5H_{12}, C_6H_{14}) и непредельные углеводороды (C_2H_2, C_2H_4).

Изучение включений проводилось в полированных с двух сторон пластинках кварца толщиной 0,2 мм. Просмотрено 6 пластинок кварца по основной промышленной жиле 87. Всего изучено около 60 включений.

Основные типы включений представлены на рис. 1. По форме, составу и в соответствии с представлениями Г.Г. Леммлейна [8] они относятся к первичным – ксеногенным, аутигенным (рис. 1, A, B, C) и вторичным (рис. 1, D). В основном преобладают двухфазные включения, чуть реже встречаются однофазные (объемные газовые и жидкие). В незначительном количестве встречаются трехфазные включения. Жидкая фаза в них представлена в основном H_2O с небольшими концентрациями растворенных солей (до 14 мас. % NaCl). Твердая фаза представлена кристаллами солей и рудных минералов. Газовая фаза представлена различными газами, в основном CO_2.

Температура гомогенизации газово-жидких включений меняется от 290...340 до 140...160 °С (минимальная температура образования первичных газово-жидких и вторичных включений, соответственно). Значительный разброс температур является следствием различной природы включений.

Таким образом, температура образования кварца основного этапа рудообразования составляет как минимум 290...340 °С; более позднее гидротермальное преобразование происходило в условиях более низких температур (140...160 °С) с формированием вторичных включений при залечивании трещин, образовавшихся в кварце. Полученные температурные характеристики основного этапа рудообразования в целом согласуются с данными, полученными ранее [9–11] по Калгутинскому и другим редкометалльным грейзеновым месторождениям Горного Алтая.

По данным криометрии двухфазных включений из кварца жилы 87 (проведен анализ 2-х двухфазных включений, где жидкая фаза представлена H_2O, а газовая – CO_2) температура эвтектики составила 24...26 в первом и 25...28 °С во втором включении. С учетом температуры плавления льда (соответственно 7,5 и 8...9,5 °С) рассчитана концентрация солей в жидкой фазе включений – 11,6 и 12,5...14,0 мас. % NaCl.

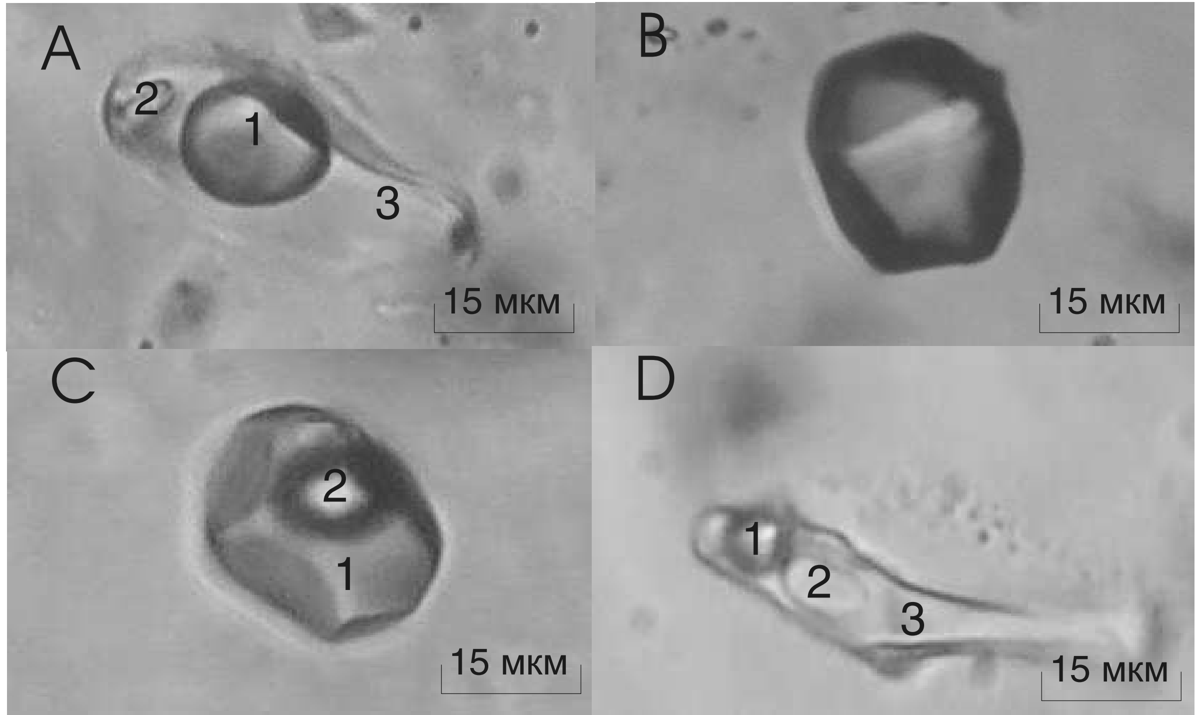


Рис. 1. *Типы включений в кварце: A) трехфазное включение (1 – пузырек CO_2, 2 – кристалл соли, 3 – вода), B) объемное включение с CO_2, C) двухфазное включение (1 – жидкость (H_2O), 2 – пузырек газа (CO_2), D) трехфазное включение (1 – пузырек CO_2, 2 – кристалл соли, 3 – вода). Размер включений составляет 20...35 мкм*

Основными компонентами газово-жидких включений в кварце являются вода (до 92 %) и углекислота (до 8 %), остальные компоненты содержатся в менее значимых концентрациях (табл. 1).

По общей флюидонасыщенности (сумма всех газов и воды) кварца рудоносные образования заметно отличаются друг от друга. Более насыщен кварц грейзенового тела Мо-шток 1 и жилы 1–2 (в среднем 1630 и 1600 мг/кг), в кварцах других рудных тел содержание флюида снижается до 1050...1220 мг/кг. Как видно из полученных данных (рис. 2, табл. 1) это различие, по-видимому, обусловлено в первую очередь различной изученностью рудных тел по вертикали (различным относительным уровнем сечений тел). В тоже время отмечается общая закономерность в уменьшении флюидонасыщенности кварца с глубиной. Градиент уменьшения содержания флюида в кварце с глубиной (в расчете на 10 м) по рудным телам составляет: жила 87 (от 20 к 19 горизонту) 58 мг/кг; жила 69–70 – 47 мг/кг; «Мо-шток 1» – 37 мг/кг. Исключение составляет жила 87, где от горизонта штольни 19 к 18 увеличивается флюидонасыщенность кварца. Учитывая ранее полученные данные по зональности оруденения [12], можно сделать вывод о ярусном (волновом) распределении оруденения в пределах основной промышленной рудной жилы 87 и высоких перспективах рудоносности ее более глубоких горизонтов.

Содержание воды в кварце рудоносных образований изменяется в широких пределах от 880 до 1500 мг/кг. Максимальными содержаниями воды резко выделяются (на фоне других образований) Мо-шток 1 и жила 1–2, где ее среднее содержание составляет 1500 мг/кг. Мо-шток 2 характеризуется минимальными содержаниями воды – 880 мг/кг.

Во всех изученных рудоносных образованиях концентрация воды с глубиной заметно снижается. При этом в кварце основной промышленной жилы 87 при переходе от 19 горизонта к 18 отмечается заметное увеличение концентрации воды и остальных газов (рис. 2).

Необходимо заметить, что подобная тенденция (уменьшение с глубиной содержания воды) наблюдается и при сравнении разноглубинных вольфрамовых месторождений Горного Алтая. От малоглубинных к глубинным месторождениям уменьшается содержание воды и общей суммы газов [11]. Возможно, эта закономерность одинаково проявляется на разном масштабном уровне рудообразования (от отдельных рудных жил до рудных полей и узлов).

Содержание углекислоты в кварцах различных рудоносных образований изменяется в узком диапазоне от 43 до 85 мг/кг. В значительно большей степени варьируют ***концентрации*** **СО** от 7 до 43 мг/кг. Между рудоносными образованиями отмечается прямая зависимость в изменении концентраций компонентов (максимальные концентрации отмечаются в Мо-штоке 2, а минимальные в жиле 69–70).

Не наблюдается заметного изменения концентрации углекислоты с глубиной. Но в связи со зна-

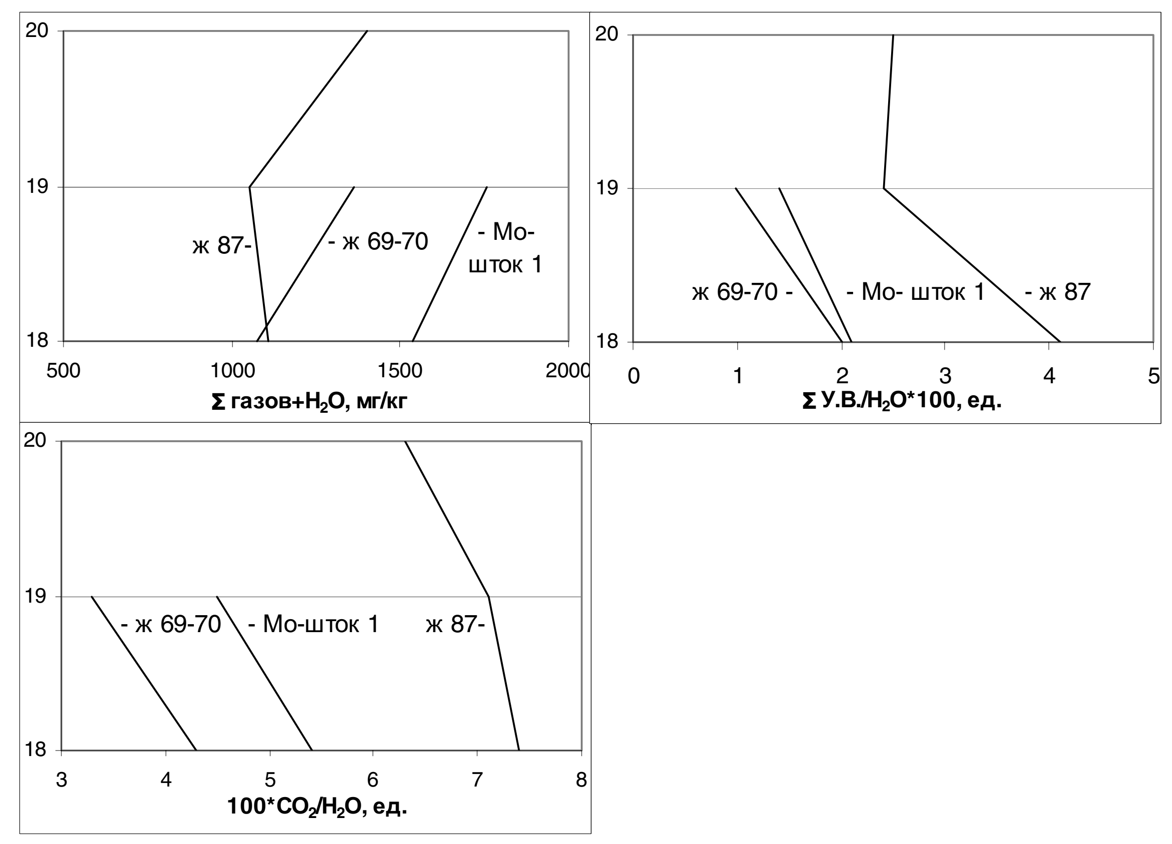


Рис. 2. *Изменение количества и состава газов в кварцах рудоносных геологических образований Калгутинского месторождения с глубиной (штольни 18–20)*

Таблица 1. *Содержание основных газов в кварце рудоносных образований Калгутинского месторождения, мг/кг*

Рудоносные образования (кол-во проб)		H_2O	CO_2	CO	H_2	CH_4	C_2H_2	$C_2H_{4,6}$	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	C_6H_{14}	∑газов + H_2O
Жила 87	Горизонт 20 (3)	1280±110 1200...1600	80±7 70...100	15±3 10...20	<2	9±0,6 8...10	7±0,6 6...8	0,8±0,1 0,6...1	6±1 4...8	5,5±1,5 4...10	3±1 2...6	0,7±0,1 0,4...1	1400±130
	Горизонт 19 (10)	950±180 14...1600	68±6,2 30...90	10±2 5...20	<2	6±0,4 4...8	5±0,4 4...6	0,7±0,1 0,4...1	5±0,5 4...8	4±0,5 2...6	1,6±0,4 1...4	0,4±0,1 0,1...0,8	1050±190
	Горизонт 18 (7)	970±140 420...1400	71±12 20...120	27±8,7 3...60	2±0,7 1...5	10±2,6 4...20	6,9±1,3 2...10	1,7±0,6 0,6...4	9±2 4...20	7±1,1 4...10	3,7±1,1 1...8	1,7±0,5 0,2...4	1110±180
	Вся жила (20)	1030±100 14...1600	72±5 20...120	17,5±4 3...60	<2	8,2±1 4...20	6±0,5 2...10	1,1±0,2 0,4...4	6,7±0,9 4...20	5,5±0,6 2...10	2,7±0,5 1...8	1±0,2 0,1...4	1150±110
Жила 69–70	Горизонт 19 (3)	1300 1300..1300	43±12 20...60	4,7±0,7 4...6	<2	3,3±1,3 2...6	2,7±0,7 2...4	0,3±0,1 0,2...0,6	2,7±0,7 2...4	2,7±0,7 2...4	1 1...1	0,2±0,1 0,1...0,4	1360±16
	Горизонт 18 (3)	1000±150 710..1200	43±3 40...50	9,3±0,7 8...10	<2	5,3±0,7 4...6	4 4...4	0,3±0,1 0,2...0,4	4 4...4	4,7±0,7 4...6	1,7±0,3 1...2	0,4±0,1 0,1...0,6	1080±160
	Вся жила (6)	1150±90 710..1300	43±6 20...60	7±1 4...10	<2	4,3±0,8 2...6	3,3±0,4 2...4	0,3±0,1 0,2...0,6	3±0,4 2...4	3,7±0,6 2...6	1,3±0,2 1...2	0,3±0,1 0,1...0,6	1220±100
Жила 1–2, горизонт 20 (3)		1500±120 1300..1700	60±6 50...70	16±4 8...20	<2	7,3±1,8 4..10	6,7±1,3 4..8	0,7±0,1 0,4...0,8	5±1,8 2...8	6±2 2...10	1,7±0,3 1...2	0,5±0,1 0,4...0,6	1600±130
Мо-шток 1	Горизонт 19 (4)	1650±130 1300..1900	75±13 50..110	10±4 4...20	<2	5,5±1,7 2...10	5±1,7 2..10	0,6±0,1 0,2...0,8	5±1,7 2...10	5,5±1,7 2...10	1,5±0,3 0,8...2	0,4±0,2 0,1..1	1760±160
	Горизонт 18 (6)	1420±180 820...1900	77±14 30...130	10±2 6...20	<2	8±1,3 4...10	7±1 4..10	1±0,3 0,4...2	6±1 2...8	6±1 2...8	2±0,5 0...4	0,6±0,1 0,1..1	1540±200
	Весь шток (10)	1500±120 820...1900	76±10 30..130	10±2 4...20	<2	7±1 2...10	6±1 2...10	0,7±0,2 0,2...2	5,6±1 2...10	6±0,8 2...10	1,8±0,3 0,8...4	0,5±0,1 0,1...1	1630±140
Мо-шток 2, дневная поверхность (4)		880±110 570..1100	85±10 60..110	43±10 20...70	6±0,6 5...8	15±3 10...20	12,5±2,5 10...20	2±0,7 1...4	9,5±0,5 8..10	8,5–1 6..10	5±0,6 4...6	1,5±0,3 1...2	1070±140

Числитель – среднее содержание компонента и стандартная ошибка; знаменатель – минимальное и максимальные содержания

чительным снижением концентрации воды «углекислотность» флюида (CO_2·100/H_2O) заметно возрастает (рис. 2). Обращает на себя внимание, не только общая закономерность в увеличении «углекислотности» флюида, но и близость величины градиента (в расчете на 10 м) увеличения этого параметра с глубиной. В жиле 87 (от 20 к 19 горизонту) он составляет 0,13 ед.; в жиле 69–70 – 0,17 ед.; в «Мо-штоке 1» – 0,15 ед. В жиле 87 с глубиной величина градиента заметно снижается (рис. 2).

Ранее, В.Б. Дергачевым с коллегами [10], были получены близкие данные по содержанию воды, углекислоты и «углекислотности» кварцев Калгутинского и других месторождений Горного Алтая. В работе авторы делают вывод о том что «углекислотность» флюида заметно снижается от раннего грейзенового этапа рудоообразования к более позднему жильному продуктивному (от 20...50 до 2...10 ед.). Полученные нами данные показывают отсутствие отличия по этому параметру между ранними грейзеновыми образованиями (автономное грейзеновое тело Мо-шток 1) и более поздними продуктивными кварцевыми жилами (табл. 2). Очевидно, главным фактором является изменение «углекислотности» флюида с глубиной, что ранее не было изучено.

Водород обнаружен в значительных концентрациях (5...8 мг/кг) в кварце Мо-штока 2. В пределах основной промышленной рудной жилы 87 на верхних горизонтах содержание H_2 ниже порога чувствительности анализа, но на нижнем горизонте содержания компонента заметно возрастают до 5 мг/кг.

Среди углеводородов (УВ) ведущую роль играет метан, менее распространены (в порядке убывания) C_2H_2, C_3H_8, C_4H_{10}, C_5H_{12}, $C_4H_{4,6}$, C_6H_{14}. В изменении концентрации углеводородов по отношению друг к другу отмечается прямая зависимость. УВ в максимальных концентрациях содержатся в кварце Мо-штока 2. С глубиной отмечается общее увеличение содержания УВ в кварце, а при общей тенденции снижения содержания воды, в еще большей степени возрастает отношение УВ к H_2O (рис. 2).

В соответствии с принятыми подходами нами рассчитаны (табл. 2) параметры углекислотности (CO_2·100/H_2O), коэффициентов водородной специализации ($Кн_2$=(H_2+H_2O+ΣУВ)/(CO+CO_2)) и восстановленности флюида (Кв=(H_2+ΣУВ+CO)×100/(CO_2+H_2O).

Рудоносные образования Калгутинского месторождения значительно отличаются по величине рассчитанных параметров. Средняя величина **отношения CO_2·100/H_2O** изменяется от 3,8 ед. в жиле 69–70 до 9,6 ед. в Мо-штоке 2. Ранее [10] по Калгутинскому месторождению в целом была получена величина 4,4 ед. Наши данные показывают, что без привязки к конкретным рудным телам полученные осредненные характеристики по месторождениям могут быть весьма противоречивы. В пределах изу-

ченных тел с глубиной отношение $CO_2 \cdot 100/H_2O$ возрастает на 20...30 %, и обусловлено это уменьшением содержания воды в составе флюида, в этой связи сделанный вывод [11] о закономерном увеличении этого отношения в вольфрамовых грейзеновых месторождениях Горного Алтая от гипабиссальных (Калгутинское месторождение), через мезоабиссальные (Коккольское и Чиндагатуйское) к абиссальным (Бугузунское), без характеристики изученных пересечений и оценки степени изменения этого параметра в пределах самих месторождений, представляется недостаточно обоснованным.

Таблица 2. *Изменение отношения $CO_2 \cdot 100/H_2O$, коэффициентов водородной специализации и восстановленности флюида в кварце*

Рудоносные образования		$CO_2 \cdot 100/H_2O$	$Кн_2$	Кв
Жила 87	Горизонт 20	6,3	13,8	3,5
	Горизонт 19	7,1	12,5	3,3
	Горизонт 18	7,4	10,3	6,6
	Вся жила	6,9	11,9	4,5
Жила 69–70	Горизонт 19	3,3	27,4	1,3
	Горизонт 18	4,3	19,4	2,8
	Вся жила	3,8	23,2	2,0
Жила 1–2, горизонт 20		4	20,1	2,8
Мо-шток 1	Горизонт 19	4,5	19,7	1,9
	Горизонт 18	5,4	16,7	2,7
	Весь шток	5	17,9	2,4
Мо-шток 2, дневная поверхность		9,6	7,4	10,6

Коэффициент водородной специализации показывает соотношение водорода и углерода во флюиде. $Кн_2$ изменяется в широком диапазоне от 7,4 в Мо-штоке 2, до 23,2 ед. в жиле 69–70. Во всех изученных рудных телах с глубиной $Кн_2$ закономерно снижается. По принятой методике расчета углеводороды учитываются в сумме в числителе, что приводит к увеличению $Кн_2$ за счет углерода, входящего в состав этих газов. Реальное соотношение водорода и углерода в составе флюида показано на примере основной промышленной рудной жилы 87 (табл. 3) и оно характеризуется значительно более низким количественным выражением. На верхнем горизонте оно составляет 2,7 ед., а на нижнем 1,8 ед., и в целом снижается с глубиной в изученном интервале на 33 %.

Коэффициент восстановленности флюида оценивается по отношению суммы восстановленных газов к сумме окисленных. В изученных образованиях Кв варьирует в широких пределах от 2 ед. в жиле 69–70 до 10,6 ед. в Мо-штоке 2. Во всех рудных телах восстановленность флюида с глубиной значительно возрастает.

Полученные данные позволяют оценить общий характер изменения состава флюида в кварце в плоскости основной промышленной жилы 87 (рис. 3). Комплексный анализ изменения содержания газов, воды, их соотношений совместно с данными по изменению мощности жилы и содержания графита в жиле, показывает, что эти параметры взаимосвязаны и отмечается сочетание продольной и вертикальной зональности. На вертикальной проекции жилы 87 наблюдается увеличение концентрации CO_2 к центру жилы и с глубиной (рис. 3).

На проекции жилы 87 в центре на среднем горизонте (где отмечается максимальная мощность жилы) наблюдается аномалия по общей насыщенности флюида, связанная с низким содержанием воды. Отмечается тенденция к увеличению насыщенности флюида от фронтальной части к центру и от верхних горизонтов к нижнему.

Изменение состава включений кварца происходит в целом за счет трех элементов – O, H и C. Нами проведен пересчет содержания газов и воды в кварце жилы 87 на верхнем и нижнем горизонте на содержание химических элементов (табл. 3). Анализ этих данных позволяет представить в целом картину изменения состава рудообразующего флюида в процессе его миграции в области рудоотложения.

Таблица 3. *Содержание основных элементов в составе газов кварца жилы 87, г/т*

Горизонт	Кислород			Водород		Углерод		
	Форма нахождения							
	H_2O	CO_2	CO	H_2O	H_2+УВ	CO_2	CO	УВ
20	1133 (+31,4%)	58 (+11,5 %)	8,6 (–44 %)	142 (+31,4%)	5,6 (–40 %)	21,8 (+12 %)	6,4 (–45 %)	26,3 (–20 %)
	Σ1200 (+29 %)			Σ147,6 (+26 %)		Σ54,5 (–15 %)		
18	863	52	15,4	108	9,2	19,5	11,6	33
	Σ930,4			Σ117,2		Σ64,1		

Примечание. В скобках даны изменения содержания элементов в % от нижнего к верхнему горизонту

При перемещении флюида вверх по восстанию на 120 м. происходит увеличение содержания кислорода на 29 % за счет возрастания доли элемента, приходящейся на газы, высшей степени окисления (H_2O и CO_2). А доля элемента, связанная с газом промежуточной степени окисления (CO), резко снижается (на 44 %). Подобным образом меняется содержание водорода. В целом содержание элемента резко возрастает на 26 %, но происходит это за счет окисленной формы (H_2O), а содержание элемента в виде восстановленных форм (H_2 + УВ) резко снижается (на 40 %).

Если содержание кислорода и водорода в системе по восстанию рудного тела в целом растет, то содержание углерода заметно снижается на 15 % (9,6 мг/кг). При этом значительно снижается доля углерода в виде восстановленных форм (УВ) и CO, и это снижение не компенсируется слабым увеличением содержания CO_2. Потеря углерода из системы только по составу законсервированного в виде включений флюида составляет 9,6 мг/кг.

Очевидно, что углерод ушел из флюида в твердую минеральную фазу и отложился в виде графита, детальная минералогия и геохимия которого изучена нами ранее [1, 3]. Учитывая, что среднее

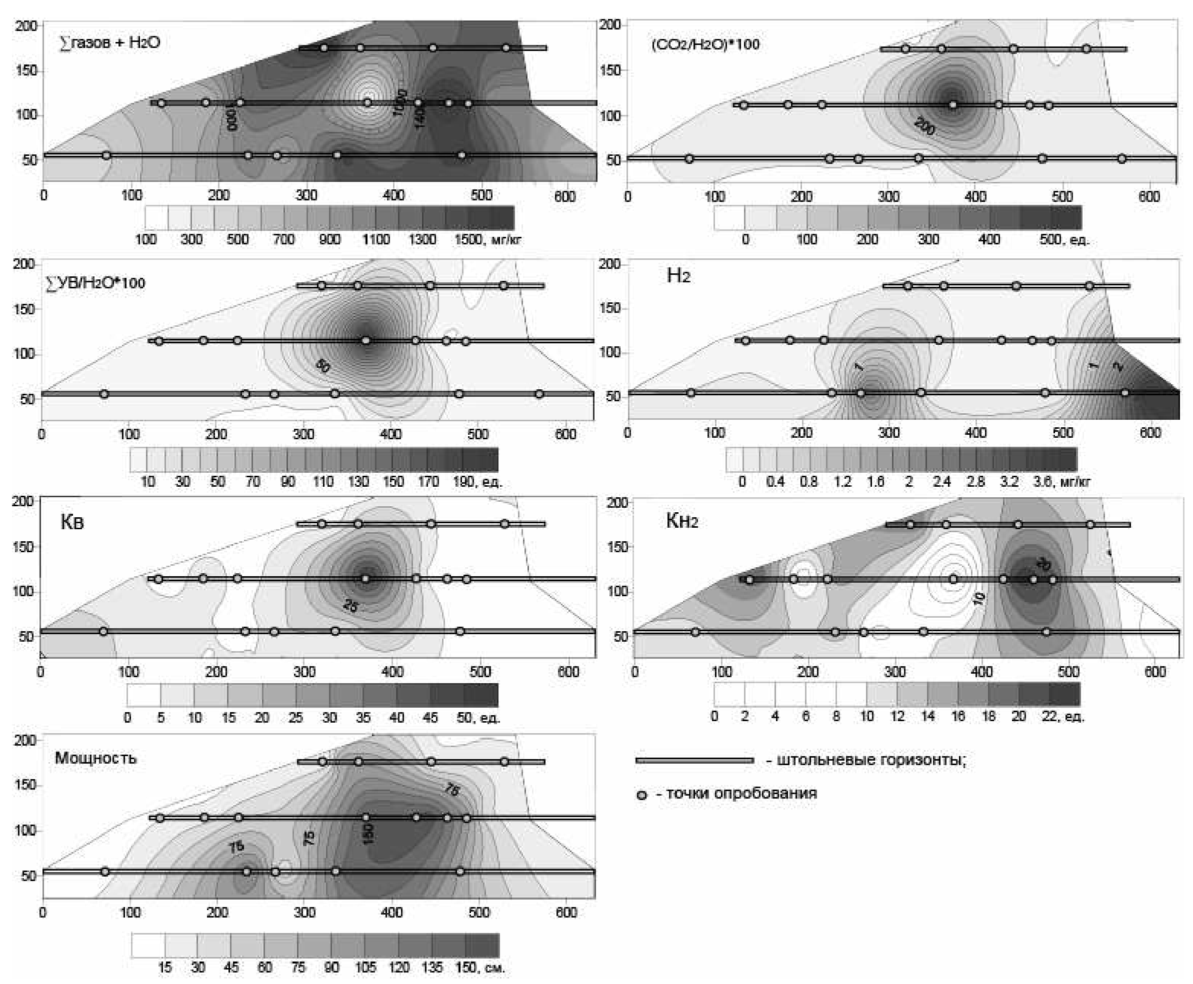


Рис. 3. *Изменения состава газово-жидких включений в кварцах и мощности жилы 87 (проекция на вертикальную плоскость)*

содержание графита в жиле составляет 0,035 мас. % (350 мг/кг), можно оценить, из какого общего количества флюида при этих условиях должен был выделиться углерод для накопления установленных концентраций графита. Для этого содержание графита в жиле (350 мг/кг) делим на выделившийся из флюида в твердую фазу углерод (9,6 мг/кг) и умножаем на общую концентрацию флюида в кварце (1110 мг/кг на 18 горизонте). Эта величина составляет 40,5 г флюида на 1 кг кварца. Несомненно, эти оценки весьма приблизительны, так как сделаны с учетом целого ряда допущений. Но обнаружение графита в жилах однозначно согласуется с установленными изменениями состава газово-жидких включений в кварце и тем самым еще раз подчеркивается их генетическая связь.

Таким образом, появление в жилах графита является свидетельством резкого изменения состава флюидной фазы. Сложно установить изменение какого параметра или совокупности параметров системы (P, T, состав или другие параметры) оказали наиболее существенное влияние на процесс выхода углерода из флюида и образование графита. Очевидно, что основной предпосылкой для формирования графита является наличие углеводородов в составе флюида и поступление в систему кислорода в концентрациях, недостаточных для полного окисления всех компонентов.

Основные выводы

1. В составе газово-жидких включений кварца основной рудной жилы 87 преобладают одно- и двухфазные включения, состоящие в основном из воды и углекислого газа. Реже встречаются трехфазные включения, в которых появляется твердая фаза, состоящая из кристаллов NaCl и рудного вещества. Концентрация солей в трехфазных включениях (по данным криометрии) незначительна и составляет 11,6...14 мас. % NaCl. Температура гомогенизации первичных включений составляет – 290...340 °C, а вторичных 140...160 °C.
2. Хроматографический анализ газов, выделенных из кварцев рудоносных геологических образований, показал наличие в их составе наряду с водой и углекислотой широкого спектра углеводородов (CH_4, C_2H_2, $C_2H_{4,6}$, C_3H_8, C_4H_{10}, C_5H_{12}, C_6H_{14}) и свободного водорода. Рудоносные геологические образования значительно

отличаются по составу газово-жидких включений. Из всех образований резко отличается Мошток 2. В нем содержание воды ниже, а содержание всех изученных газов значительно выше, чем в других геологических образованиях. Кроме того, во всех пробах обнаружен H_2 (6 мг/кг).

Основная промышленная рудная жила 87 по сравнению с другими жилами имеет более низкие содержания воды и более высокие концентрации углекислоты, СО и большинства углеводородов (метана, этана, этилена, пропана, пентана, гексана).

3. Наблюдаются закономерное уменьшение общей концентрации флюида в кварце всех рудоносных образований с глубиной и изменение его состава. С глубиной возрастает углекислотность ($CO_2 \cdot 100/H_2O$) и восстановленность флюида, и снижается коэффициент водородной специализации. В пределах жилы 87 отмечаются подобные изменения в составе флюида при увеличении ее мощности.

В жиле 87 происходит резкое снижение флюидонасыщенности кварца от верхнего горизонта к среднему и ее повышение к нижнему. Учитывая ранее полученные данные по зональности оруденения [12], можно сделать вывод о ярусном (волновом) распределении оруденения в пределах основной промышленной рудной жилы 87 и высоких перспективах рудоносности ее более глубоких горизонтов.

4. Вверх в направлении движения металлоносных флюидов (по восстанию рудоносных образований) в составе флюида заметно возрастает содержание кислорода, водорода и снижается содержание углерода. В изученном интервале глубин (18–20 горизонты) снижение содержания углерода в составе «законсервированного» флюида с отложением его в форме графита составляет 9,6 мг на 1 кг кварца. Для образования установленных [1, 3] средних концентраций графита достаточно выхода углерода из 40,5 г флюида в расчете на 1 кг кварца.
5. Результаты изучения газово-жидких включений кварца в данном вертикальном интервале (пространстве) Калгутинского месторождения указывают на резкое изменение параметров гидротермальной системы, а процесс рудообразования происходил в условиях окисления восстановленного металлоносного флюида.

Авторы выражают благодарность А.А. Томиленко и Л.Н. Фоминой (ИМП СО РАН, г. Новосибирск) за помощь в проведении исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта УР № 09.01.415.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поцелуев А.А., Котегов В.И., Акимцев В.А. Графиты Калгутинского редкометалльного грейзенового месторождения (Горный Алтай) // Доклады РАН. – 2004. – Т. 399. – № 2. – С. 241–244.
2. Поцелуев А.А., Котегов В.И., Рихванов Л.П. и др. Благородные металлы в Калгутинском редкометалльном месторождении (Горный Алтай) // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 5. – С. 36–42.
3. Поцелуев А.А., Котегов В.И. Минералого-геохимические особенности графита Калгутинского грейзенового месторождения // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 1. – С. 62–67.
4. Владимиров А.Г., Выставной С.А., Титов А.В. и др. Петрология раннемезозойских редкометальных гранитоидов юга Горного Алтая // Геология и геофизика. – 1998. – № 7. – С. 901–916.
5. Добрецов Н.Л. Мантийные плюмы и их роль в формировании анорогенных гранитоидов // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44. – № 12. – С. 1243–1261.
6. Летников Ф.А., Дорогокупец П.И. К вопросу о роли сверхглубинных флюидных систем земного ядра в эндогенных геологических процессах // Доклады РАН. – 2001. – Т. 378. – № 4. – С. 535–537.
7. Летников Ф.А. Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза // Геология рудных месторождений. – 2001. – Т. 43. – № 4. – С. 291–307.
8. Леммлейн Г.Г. Морфология и генезис кристаллов. – М.: Наука, 1973. – 328 с.
9. Сотников В.И., Никитина Е.И. Молибдено-редкометально-вольфрамовая (грейзеновая) формация Горного Алтая. – Новосибирск: Наука, 1971. – 260 с.
10. Дергачев В.Б., Никитина Е.И. Содержание воды и углекислоты и кинетика их выделения из кварцев вольфрамовых месторождений юго-востока Горного Алтая // Минералогия и петрография пород и руд главнейших рудных районов Сибири. – Новосибирск, 1983. – С. 18–27.
11. Кужельная Е.В., Дергачев В.Б. Вертикальная зональность разноглубинных вольфрамовых месторождений Горного Алтая // Геология и геофизика. – 1990. – № 5. – С. 59–67.
12. Поцелуев А.А., Котегов В.И. Зональность и закономерности в соотношении содержаний химических элементов в жилах и окололожильных грейзенах (Калгутинское месторождение) // Известия вузов: Геология и разведка. – 2002. – № 4. – С. 59–66.